

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta materiálově - technologická

Katedra tváření materiálu



Bakalářská práce

Zápustkové kování výkovku z uhlíkové oceli

Closed die forging of a carbon steel

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta materiálově-technologická
Katedra tváření materiálu

Zadání bakalářské práce

Student: **Marek Latečka**
Studijní program: B2109 Metalurgické inženýrství
Studijní obor: 2109R038 Moderní metalurgické technologie
Téma: **Zápustkové kování výkovku z uhlíkové oceli**
Closed die forging of a carbon steel
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Návrh technologického postupu kování zápustkového výkovku z oceli 12 050
2. Konstrukce zápustkového výkovku
3. Výpočet hmotnosti polotovaru a jeho ohřev
4. Výpočet deformační síly a výběr kovacího stroje
5. Tepelné zpracování výkovku

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] KUBEC, V., M. FEDORKO, M. ZEMKO a L. MALEČEK. Možnosti využití numerických simulací pro zápustkové kování. *Kovárenství*, 2015, (53), 40-43.
- [2] TOMOV, B. Hot closed die forging- State-of-Art and future development. *J. Achievements in Mat. and Manufacturing Engineering*, 2007, 24(1), 433-449.
- [3] SAMAL, C. Study of process parameters towards improving efficiency of closed die hot forging proces. PhD Thesis. *National Institute of Technology Rourkela, Rourkela*, 2014, 60.
- [4] HAWRYLUK, M. a J. ZIEMBA. Possibilities of application measurement techniques in hot die forging processes. *Measurement*, 2017, 110, 284-295.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Miroslav Greger, CSc.**

Konzultant bakalářské práce: Ing. Pavel Horečka

Datum zadání: 10.06.2019

Datum odevzdání: 15.08.2019

prof. Ing. Ivo Schindler, CSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty

Zásady pro vypracování bakalářské práce

I.

Bakalářskou prací (dále jen BP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

II.

Uspořádání bakalářské práce:

- | | |
|--|--|
| 1. Titulní list | 6. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky |
| 2. Originál zadání BP | 7. Obsah BP |
| 3. Zásady pro vypracování BP | 8. Textová část BP |
| 4. Prohlášení + místopřísežné prohlášení | 9. Seznam použité literatury |
| 5. Prohlášení zástupce spolupracující právnické nebo fyzické osoby | 10. Přílohy |

- ad 1) Titulní list je koncipován podle požadavků příslušné oborové katedry.
- ad 2) Originál zadání BP obdrží student na oborové katedře.
- ad 3) Tyto „Zásady pro vypracování bakalářské práce“ následují za originálem zadání BP.
- ad 4) Prohlášení + místopřísežné prohlášení napsané na zvláštním listu a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání BP.
- ad 5) V případě, že BP vychází ze spolupráce s jinými právnickými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právnické nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním BP.
- ad 6) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listu česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.
- ad 7) Obsah BP se uvádí na zvláštním listu. Zahrnuje názvy všech číslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části BP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.
- ad 8) Textová část BP obvykle zahrnuje:
- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním BP;
 - Vlastní rozpracování BP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
 - Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků BP z hlediska stanoveného zadání.

BP bude zpracována v rozsahu min. 25 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury).

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující doporučené úpravy - písmo Times New Roman 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm. Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 10).

Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost. Matematické vzorce musí být číslovány (v kulatých závorkách). U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury. Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

ad 9) BP bude obsahovat alespoň 10 literárních odkazů, z toho nejméně 3 v některém ze světových jazyků. Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690. Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu BP.

ad 10) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části, např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

III.

Bakalářskou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahoře:

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava

Fakulta materiálově - technologická

Katedra TVAŘENÍ MATERIÁLU

uprostřed:

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

dole:

Rok 2019


Jméno a příjmení MAPEK LATECKA

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě. Po vložení BP do IS EDISON bude provedena její kontrola na plagiátorství.

IV.

Nesplnění výše uvedených zásad pro vypracování bakalářské práce může být důvodem nepřijetí práce k obhajobě. O nepřijetí práce k obhajobě rozhoduje v tomto případě garant příslušného studijního oboru. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem bakalářského studia Fakulty materiálově – technologické, Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2018/2019.

Ostrava 12. 11. 2018


Prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
Děkanka Fakulty materiálově – technologické
VŠB-TU Ostrava

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- jsem byl(a) seznámen(a) s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního (§60 - školní dílo);
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude archivována v elektronické formě v databázi Ústřední knihovny VŠB - TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně.

V Ostravě 15.8.2019.

Marie Galová
podpis (jméno a příjmení studenta)

ABSTRAKT

V bakalářské práci se předkládá návrh technologie výroby zápustkového výkovku náboje do kola. Práce obsahuje studie, matematické vzorce, návrh součástky a volbu zápustkového stroje. Součást bude vyrobena na svislém kovacím lisu k předpokládané velkosériové výrobě. Výkovek bude vyráběn z oceli 12050. Dále bude popsán návrh tepelného zpracování pro příslušnou ocel a další možnosti tepelných úprav.

Klíčová slova: výkovek, zápustkové kování, tepelné zpracování

ABSTRACT

The project elaborated within of Bachelor's work presents a proposal production technology of a forged piece – a hub. Thesis contains literary study, mathematical calculations, part design and subsequent forging machine selection. The component will be made on a vertical forging machine designed for mass production. The forging is manufactured from steel ČSN 12050. In the thesis there is a proposal of heat treatment for this steel and further heat treatment possibilities.

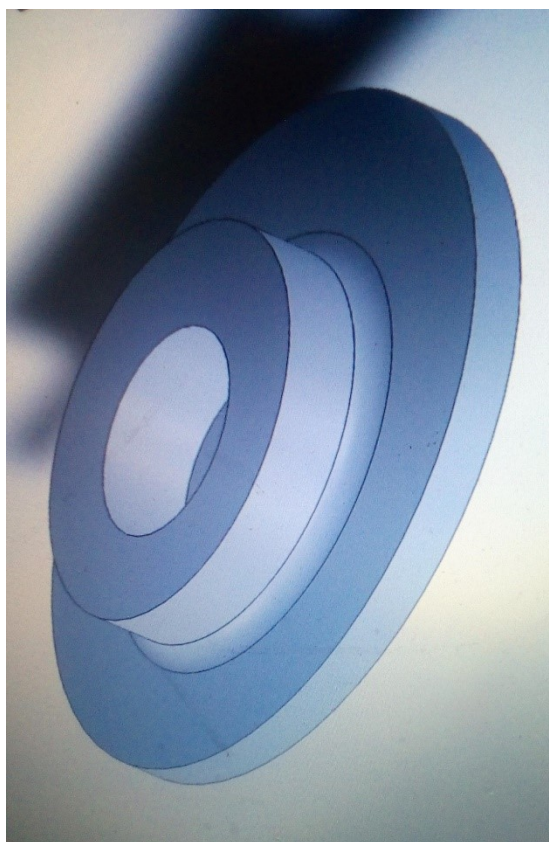
Key words: forging, drop forging, heat treatment

Obsah

1 Úvod	4
2 Charakteristika zápusťkového kování	5
2.1 Chemické složení a vlastnosti zápusťkového výkovku	7
2.2 Oceli pro výkovky	10
3 Rozbor technologického postupu zápusťkového kování výkovku	11
3.1 Návrh konstrukce výkovku	11
3.1.1 Přidávky na obrábění	12
3.1.2 Technologické přidávky	13
3.1.3 Stanovení dělicí roviny	13
3.1.4 Výpočet hmotnosti výkovku	14
3.1.5 Výronková drážka pro svislý kovací lis	15
3.1.6 Výpočet hmotnosti výronku	17
3.2 Výchozí polotovary	19
3.2.1 Hmotnost polotovaru	20
3.2.2 Dělení a ohřev polotovaru	20
4 Lisování	24
4.1 Volba tvářecího stroje	25
4.2 Výpočet síly podle Brjuchanova – Rebelského	27
4.3 Ostříhování výronku	27
4.3.1 Výpočet střížné síly pro ostřížení vnějšího výronku	27
4.3.2 Výpočet střížné síly pro ostřížení vnějšího výronku (blány)	28
4.4 Kalibrace	29
4.5 Mazání zápusťek	29
5 Tepelné zpracování výkovku	30
5.1 Návrh tepelného zpracování uvádím pro ocel 12050	31
Závěr	33
Literatura	34

1 Úvod

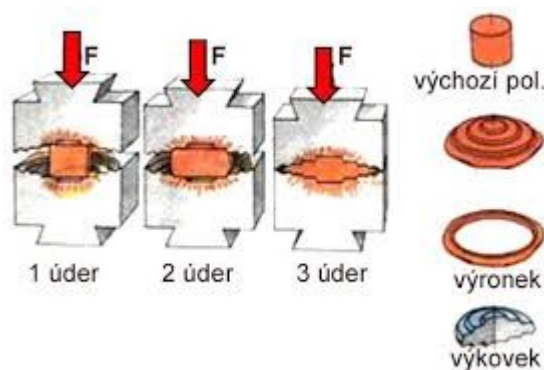
Bakalářská práce se zabývá technologií zápustkového kování a návrhem výroby součásti náboje kola **Obrázek 1**. Technologie patří do objemového tváření kovů za tepla a zároveň je velice produktivní metodou výroby, hlavně v automobilovém a strojírenském průmyslu, kdy je produktivita práce několikanásobně vyšší oproti ostatním způsobům výroby. Kování je proces, při kterém je polotovar ohřátý na kovací teplotu a následně plasticky deformován pod vysokým tlakem. Technologií vytváříme výkovky s velmi dobrými mechanickými vlastnostmi, čehož dosahujeme kováním materiálu. V bakalářské práci se také zabývám výpočty a zvolením druhu stroje pro vyráběnou součást. Dále se věnuji možnostem žíhání a zušlechťování oceli, pro co nejefektivnější výrobní postup výkovku z oceli 12050 a co nejvhodnější ovlivnění vnitřní struktury, pro dlouhodobě používaný zápustkový výkovek bez ztráty mechanických vlastností.



Obrázek 1 *Model náboje kola*

2 Charakteristika zápustkového kování

Kování je technologický tvářecí proces, při kterém se polotovary tváří přetržitě nejméně dvoudílnými nástroji. Ke kování se používají dva hlavní typy tvářecích strojů, kdy se na tvářený polotovar působí buď rázem, tzv. buchary nebo plynulou silou, tzv. lisu. Kování se člení na kování volné a kování zápustkové. Při zápustkovém kování se polotovar tváří v dutině jednoúčelového nástroje, přičemž přebytek kovu vytéká do výronku, který se ostříhuje jako nezbytný technologický odpad. Zápustkové výkovky se vyznačují velmi složitým tvarem, vysokou rozměrovou přesností a nízkou hmotností [1].



Obrázek 2 Zápustkové kování [2]

Obrázek 2 znázorňuje zápustkové kování, v tzv. otevřené zápustce. Vedle toho existuje také kování v uzavřených zápustkách, kde lze docílit kvalitního výkovku i složitěho tvaru bez vzniku výronku. Tento způsob kování je výhodný z hlediska spotřeby materiálu, kdy se vyplní celá zápustka bez vzniku výronku.

K přednostem zápustkového kování patří:

a) vysoká výrobnost, která činí desítky až stovky výkovků za hodinu (na automatických linkách i přes 1000 výkovků za hodinu),

b) zhotovení tvarově členitých výkovků s minimálními materiálovými přídávky (v některých případech zcela bez přídávky nebo s přídávky jen na některých funkčně nejnáročnějších plochách),

c) vysokou rozměrovou přesností (u výkovků kalibrovaných za studena dosahují mezní úchylky $\pm 0,1$ mm někdy až $\pm 0,05$ mm a dokonalou povrchovou jakostí (zejména při bezokujovém ohřevu),

d) hospodárné využití kovu ve srovnání s volným kovááním,

e) nižší nároky na kvalifikaci kováře, kterého je možné rychle zaučit [3].

Zápustkové kování má i některé méně příznivé znaky:

a) hmotnostní a rozměrové omezení výkovků (většina zápustkových výkovků spadá do hmotnostní kategorie 0,5 až 30 kg, výjimečně se kovou výkovky o hmotnosti až 3,5 t),

b) značná energetická náročnost zápustkového kování (v zápustkové dutině se kove celý objem výkovku najednou),

c) potřeba jednoúčelového, a tím i velice drahého nástroje, který má výrazný vliv na výslednou cenu zápustkového výkovku, a tím i na ekonomické opodstatnění této technologie.

Z hledisek technologie zápustkového kování se v některých aspektech liší při kování na bucharech a na lisech. Podle normy se zápustkové výkovky rozlišují a označují vzhledem ke složitosti tvaru podle:

- a) tvarového druhu XXXX-X číselné označení 4 až 9 a 0
- b) tvarové třídy XXXX-X číselné označení 1 až 9
- c) tvarové skupiny XXXX-X číselné označení 1 až 8
- d) tvarové podskupiny XXXX-X číselné označení 1 až 9 a 0
- e) technologického hlediska XXXX-X číselné označení 1 až 9

Kódování podle výše uvedeného dělení je poměrně komplikované, svědčí o široké škále a často značně složitých tvarech zápustkových výkovků. Jako příklad uvádím z normy detailněji jen rozdělení výkovků podle technologického hlediska na:

- a) výkovky souměrné, pokud mají alespoň dvě roviny souměrnosti na sebe kolmé (ozn. 1, 3, 6),

b) výkovky nesouměrné, pokud nemají ani dvě roviny souměrnosti na sebe kolmé (ozn. 2, 4, 7),

c) výkovky s ozubením, pokud jeho ozubení slouží k přenosu sil odvalováním. Pokud je tvar zápustkového výkovku velmi jednoduchý, dá se vykovat v jediné zápustkové dutině, pak se hovoří o *jednodutinovém* kování. Mnohem častější je použití předem tvarovaného *předkovku* a tzv. *postupového kování v přípravných a dokončovacích* dutinách. Všechny tyto dutiny bývají umístěny v jediné zápustce daného tvářecího stroje [1,4].

2.1 Chemické složení a vlastnosti zápustkového výkovku

Rozhodující podíl zápustkových výkovků se vyrábí z ocelí tříd 11 až 17 a třídy 19 podle normy, u kterých je v materiálových listech uvedeno označení výkovku. Výkovky z jiných ocelí se vyrábějí po dohodě mezi dodavatelem a odběratelem. Vedle toho lze zápustkové výkovky vyrábět i z jiných kovů, například neželezných kovů a jejich slitin, například z mědi, hliníku či titanu.

Chemické složení materiálu zápustkového výkovku je principiálně stanoveno materiálovou normou oceli, kovu či slitiny, včetně dovolených odchylek složení hotového výrobku a dělí se podle tříd:

- 10. třída - základní ocel vhodná pro stavbu nízké kvality.
- 11. třída – ocel je tvárná za tepla i studena vhodná pro výkovky. Minimální pevnost v tahu (MPa). Dobře svařitelná. Převážně pro výrobu méně namáhaných částí výrobku, výlisku, výkovku.
- 12. třída - ušlechtilá ocel s legujícími prvky, má lepší mechanické vlastnosti, vhodná pro širší škálu a kvalitu výrobků (C, P, S, Si, Mn).
- 13. třída – legovaná ocel hlavně Mn například (pružinová ocel).
- 14. třída - oceli jsou nízkolegované, po Mn a Si se přidává chrom.
- 15. třída - nízkolegovaná ocel s přídavkem molybdenu.
- 16. třída - nízko a středně legovaná ocel s přídavkem niklu a dalších kombinací a mixů (hlavně chromem, vanadem, nebo také wolframem).
- 17. třída - žáruvzdorná a koroziivzdorná ocel, hlavně nerez středně a vysoko legovaná.
- 19. třídy - ocel je vhodná pro výrobu zápustek (nástrojová ocel). Rozdělujeme ji na:

1. Uhlíkovou - předepsané (%) uhlíku v oceli a legovaných prvků (C, P, S, Si, Mn).
2. Slitinovou - oceli nízko, středně a vysoko legované s legujícími prvky (W, Mo, V, Cr).
3. Rychlořeznou - určenou pro vysoce legované lití, hlavně wolframem.

Pokud jde o vlastnosti zápusťkových výkovků, kromě základního požadavku na chemické složení ocelí podle požadované normy, lze opět vyjít z požadavků definovaných následovně:

a) přesnost provedení: zápusťkové výkovky se vyrábějí ve čtyřech stupních přesnosti označených jako obvyklé provedení, přesné provedení, velmi přesné provedení a provedení podle dohody,

b) stav materiálu: charakterizuje stav materiálu při dodávce od výrobce, který může být:

- surový – odstraněny jsou pouze výronky bez dalších úprav po kování a bez tepelného zpracování,
- surový a tepelně zpracovaný – odstraněny jsou výronky bez dalších úprav po kování, ale výkovek je tepelně zpracovaný na stav uvedený v materiálovém listě oceli,
- tepelně zpracovaný podle dohody – odstraněny jsou výronky a stav tepelného zpracování odpovídá údajům na výkrese výkovku, schváleným mezi dodavatelem a odběratelem,
- upravený – stav, který zahrnuje zvláštní úpravy povrchu (odstranění okují, trhlin, kalibrování, barvení). Způsob úpravy musí být předem dohodnut a uveden na výkrese nebo v objednávce.

c) rozměry a tvar: tyto vlastnosti výkovku příslušné normy musí odpovídat výkresu schválenému mezi dodavatelem a odběratelem a zahrnují i tolerance (přesazení, otřep, prohnutí, sestřížení nebo jehly) rozměru a tvaru výkovku podle uzavřených dohod.

d) jakost povrchu: plochy, které se obrábějí, dovolují vady, jako jsou trhliny, záseky, otlaky, nebo stopy po broušení, pokud nezasahují do rozměru obrobeneho výkovku zvětšeného o jednu čtvrtinu minimálního přídatku na obrábění. Minimální přídatek na obrábění se rovná přídatku na obrábění příslušné plochy zmenšenému o polovinu dolní mezní úchytky rozměru výkovku. U ploch, které nejsou obráběny, nesmí být hloubka povrchových vad měřená od povrchu skutečného výkovku větší než horní mezní úchytky příslušného rozměru výkovku. U netvářených částí výkovku se dovolují povrchové vady odpovídající normám výchozího materiálu. V technických zdůvodněných případech, může být na plochách, které nejsou

obrobeny dohodnuty i jiné hloubky povrchových vad. Případné začištění povrchových vad je možné po dohodě a musí být uvedeno v objednávce. Odstranění vad výkovku zavařováním je přípustné opět jen se souhlasem odběratelem.

e) mechanické vlastnosti: hodnoty mechanických vlastností výkovků jsou uvedeny v materiálových listech oceli. Mechanické hodnoty, které nejsou v materiálových listech oceli uvedeny, musí být dohodnuty mezi odběratelem a dodavatelem. Mechanické hodnoty uvedené v materiálových listech oceli platí pro podélný směr vláken. Při odběru zkoušek v jiném směru vláken, se snižují mechanické hodnoty podle **tabulky 1** [4].

Tabulka 1: *Snížení hodnot mechanických vlastností [4]*

mechanické vlastnosti	snížení hodnot (%)	snížení hodnot (%)
vzorek	vzorek odebraný napříč vláken	vzorek odebraný po těživě
mez kluzu R_e [MPa]	10	5
mez pevnosti v tahu R_m [MPa]	10	5
tažnost A [%]	50	25
kontrakce Z [%]	40	20
zkouška rázem v ohybu KCU [J]	50	25

Výkovky z ocelí a neželezných kovů jsou nedílnou součástí, jak pro strojírenský průmysl, tak hlavně při využití v automobilovém průmyslu, kde má zápustkové kování stejných dílů největší uplatnění.

Kování se člení podle druhu ocelí do tříd 11-17 a 19 (nástrojová ocel) a podle technologií kování je odlišné pro lisý nebo buchary.

a) Zápustkové výkovky kované na bucharech:

I. skupina - výkovky s rovnou protáhlou osou

II. skupina - výkovky s prohnutou osou

III. skupina - výkovky s výčnělky

IV. skupina - výkovky s rozvidlením

V. skupina - výkovky s kruhovým nebo čtvercovým půdorysem

VI. skupina - výkovky se složeným tvarem

b) Zápustkové výkovky kované na klikových kovacích lisech se dělí do skupin:

I. skupina - výkovky s půdorysem kruhovým nebo čtvercovým

II. skupina - výkovky s dlouhou osou

III. skupina - výkovky s ohnutou osou

IV. skupina - výkovky vyráběné sdruženým kovááním na zápustkovém lisu a na jiném kovacím zařízení

c) Zápustkové výkovky kované na vodorovných kovacích lisech se dělí do skupin:

I. skupina - dřikovité výkovky s hlavami

II. skupina - výkovky s průchozí dírou

III. skupina - výkovky se slepou dírou

IV. skupina - výkovky smíšeného tvaru

V. skupina - výkovky kombinovaného tvaru

2.2 Oceli pro výkovky

Oceli porovnáváme podle jeho mechanických vlastností a podle vnitřní struktury materiálu. Jeho vlastnosti jsou ovlivňovány výrobou a jeho pevnost je ovlivněna především teplotami. Dále se zaměřujeme na mez kluzu a odolnost proti křehkým lomům. Vybíráme oceli s dostatečnými mechanickými a strukturními vlastnostmi zvolené třídy oceli. Dle jejich legujících prvků se dělí na:

- a) nelegované oceli - uhlíkové oceli s obsahem legujících prvků, který je pro většinu prvků do 2 %. Mechanické vlastnosti lze modifikovat tepelně, chemickým, nebo mechanickým zpracováním.
- b) nízkolegované oceli - obsah legujících prvků po odečtení obsahu uhlíku je nižší než 5 %. Mají podobné vlastnosti jako oceli nelegované, ale jsou vhodné pro tepelné zpracování.

Tepelným zpracováním je u nich možno ovlivnit mechanické vlastnosti. Se stoupajícím obsahem uhlíku stoupá i tvrdost po kalení.

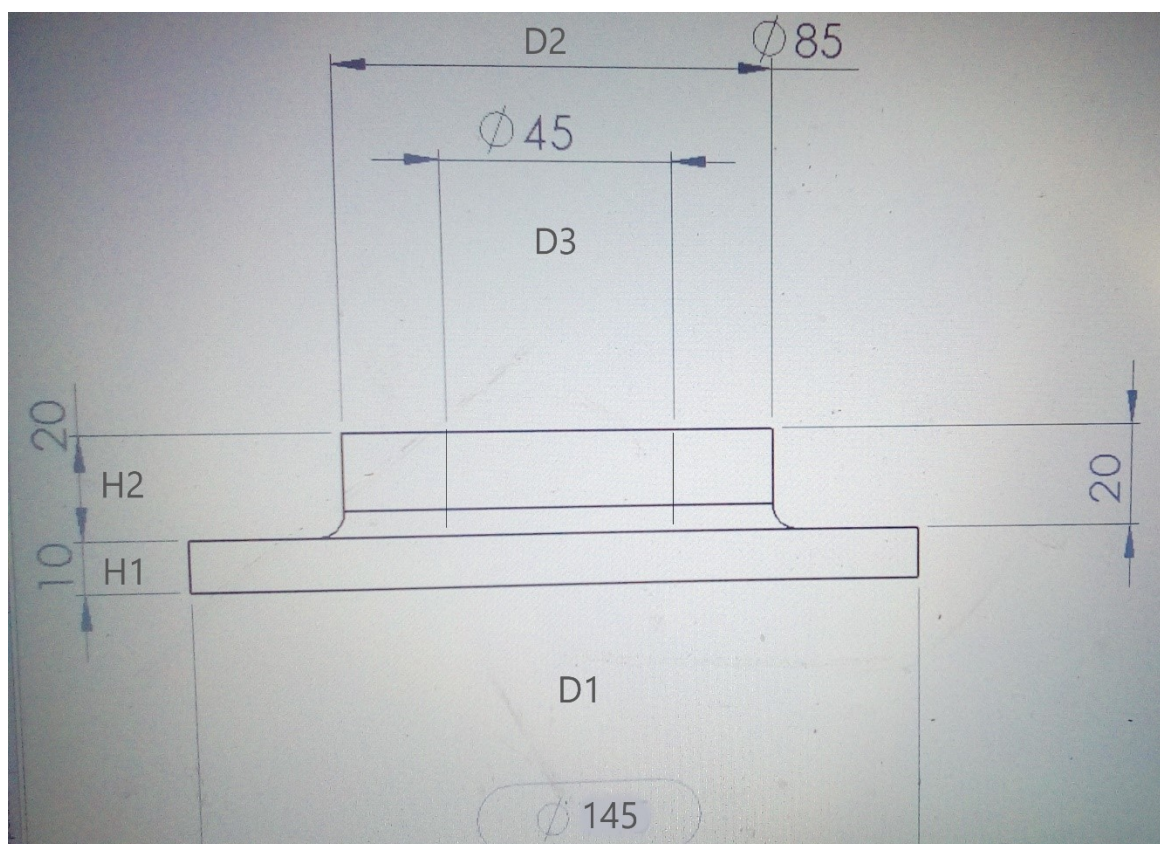
- c) vysoce legované oceli - obsah legujících prvků je vyšší než 5 %. Kombinace legujících prvků dosahuje potřebných mechanických, fyzikálních a chemických vlastností [3].

3 Rozbor technologického postupu zápustkového kování výkovku

V rozboru technologického kování musíme přihlédnout k výběru stroje, k tvaru vyráběného výkovku (ojnice, hák, hřídel, rotační tvar, podlouhlý tvar), přesnosti, rozměru a jeho hmotnosti.

3.1 Návrh konstrukce výkovku

Pro návrh konstrukce výkovku vycházíme z výkresu, z kovaného materiálu, ze zadané přesnosti a z použitého tvářecího stroje. Model jsem vytvořil pomocí programu SOLIDWORKS **obrázek 3**.



Obrázek 3 Návrh v programu SOLIDWORKS [5]

3.1.1 Přídavky na obrábění

Přídavek na obrábění materiálu, je potřeba pro vyrobení požadovaného tvaru. Přídavek zaplní jemné otvory a detaily. Pro určení množství přídavků na obrábění vycházíme z přesnosti provedení výkovku, tu dělíme na: obvyklou, přesnou, velmi přesnou nebo určíme dohodou.

Stanovení přídavku na obrábění pro výšku a průměr spodní části výkovku dle obrázku 3:

$$p_1 = H_1 \text{ až } D_1 \pm 1,0 \text{ (mm) toleranční pole} \quad (1)$$

$p_1 = 10 \text{ až } 145 \text{ mm}$ platí pro rozměry $H_1 = 10 \text{ (mm)}$ a $D_1 = 145 \text{ (mm)}$

$p_1 = 2 \text{ (mm)}$ přídavek na obrábění na průměr D_1 a výšku H_1

H_1 – výška základny

D_1 – průměr základny

p_1 – přídavek

Stanovení přídavku na obrábění pro výšku a průměr horní části výkovku dle obrázku 3:

$$p_2 = H_2 \text{ až } D_2 \pm 0,5 \text{ (mm) toleranční pole} \quad (2)$$

$p_2 = 20 \text{ až } 85$ platí pro rozměry $H_2 = 20 \text{ (mm)}$ a $D_2 = 85 \text{ (mm)}$

$p_2 = 2 \text{ (mm)}$ přídavek na obrábění na průměr H_2 a výšku D_2

H_2 – výška čepu náboje mm

D_2 – průměr čepu náboje mm

p_2 – přídavek

3.1.2 Technologické přídavky

Úkosity se volí na svislých plochách ve směru rázu a za účelem snadného vyjímání výkovků ze zápustky. Úkosity vnějších stěn jsou menší než u vnitřních, protože při chladnutí se venkovní povrch smršťuje a tím vzniká mezera mezi výkovkem a stěnou zápustky, zatímco vnitřní plochy výkovku se stahují a tím jej v zápustce svírají. Velikost úkosu se určuje podle druhu použitého kovacího stroje a způsobu vyhazování výkovku.

Úkosity zápustkového výkovku:

vnější úkosity 3°

vnitřní úkosity 7°

Mezní úchytky a tolerance rozměrů výkovku:

➤ pro stupeň přesnosti 5 kolmo k rázu:

mezní úchytky: $+1,3 \text{ mm} \quad +0,6 \text{ mm}$

tolerance: $\pm 1,9 \text{ mm}$

3.1.3 Stanovení dělicí roviny

Volbu dělicí roviny a její umístění ovlivňuje hlavně tok materiálu. Poloha může být ve směru osy výkovku nebo kolmo na hlavní osu výkovku. Podle tvaru může být přímá, lomená nebo zakřivená. Dělicí roviny dělíme na:

- a) vnitřní: určujeme při kování tvarových výkovků, kde je potřebný otvor s následným děrováním. Zde je umístěna i dělicí blána.
- b) vnější: je rozhraní mezi horní a dolní polovinou zápustky. Do vnější plochy v případě kování s výronkem, vytéká přebytečný materiál, který je brzděn můstkem výronkové drážky.
- c) vnitřní blána: poloha blány se volí uprostřed výšky otvoru. V případě kování bez výronku se volí kompenzační dutina. Tloušťka blány musí být větší než nejmenší doporučená tloušťka [1].

Výpočet plochy průmětu S výkovku do dělicí roviny:

D výkovku - 145mm:

$$S \text{ výkovku} = \frac{D^2 \cdot \pi}{4} = 16504,6 \text{ (mm}^2\text{)} \quad (3)$$

Svýk – plocha výkovku v dělicí rovině mm²

3.1.4 Výpočet hmotnosti výkovku

Výpočet hmotnosti spodní části výkovku dle obrázku 3:

$$m_1 = \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} \cdot H_1 \cdot \rho \quad (4)$$

$$m_1 = \frac{\pi \cdot 0,145^2}{4} \cdot 0,010 \cdot 7850$$

$m_1 = 1,3 \text{ (kg)}$ tj. spodní části výkovku s rozměry (H_1 , D_1)

ρ - hustota Fe v kg m⁻³

H_1 – 0,010 m výška 1

D_1 – 0,145 m průměr 1

Výpočet hmotnosti horní části výkovku dle obrázku 3:

$$m_2 = \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} \cdot H_2 \cdot \rho \quad (5)$$

$$m_2 = \frac{\pi \cdot 0,085^2}{4} \cdot 0,020 \cdot 7850$$

$m_2 = 0,890 \text{ (kg)}$, tj. horní části výkovku s rozměry (H_2 , D_2).

Výpočet vnitřní díry výkovku dle obrázku 3:

$$m_3 = \frac{\pi \cdot D_3^2}{4} \cdot H_2 \cdot \rho \quad (6)$$

$$m_3 = \frac{\pi \cdot 0,045^2}{4} \cdot 0,020 \cdot 7850$$

$m_3 = 0,250$ (kg), tj. horní části výkovku s rozměry (H_2 , D_3).

$$m_4 = m_2 - m_3 \quad (7)$$

$$m_4 = 0,890 - 0,250$$

$m_4 = 0,640$ (kg) – Vypočtená hodnota je čistá hmotnost horní části výkovku bez průměru díry výkovku.

ρ - hustota Fe v kg m^{-3}

H_2 – 0,02 v m výška 2

D_2 – 0,085 v m průměr 2

D_3 – vnitřní průměr díry v 0,045 m

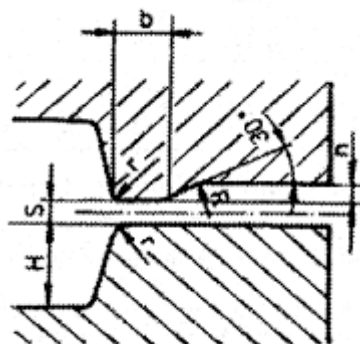
Celková hmotnost: (8)

$$m = m_1 + m_4$$

$$m = 1,3 + 0,640 = 1,94 \text{ (kg)}$$

3.1.5 Výronková drážka pro svislý kovací lis

Při kování zápustky nesmí výronková drážka dosednout. Výšku můstku (h) určuje vzdálenost mezi zápustkami v dolní úvratí. V bloku zápustky se vypracuje vybrání pro zásobník, tím pádem je dutina zápustky otevřená obrázek 4.



Obrázek 4 Výronková drážka [3]

Výpočet výšky můstku výronku:

$$\alpha = 0,015 \text{ až } 0,017$$

$$h = \alpha \cdot \sqrt{S_{\text{výk}}} \quad (9)$$

$$h = 0,016 \cdot \sqrt{16504,6}$$

$$h = 2 \text{ (mm)}$$

α – součinitel (-)

$S_{\text{výk}}$ – plocha výkovku v dělicí rovině v mm^2

h - výška můstku výronkové drážky v mm

Stanovení tvaru a rozměru výronkové drážky, obrázek 4:

$$h = 2 \text{ mm}$$

$$b = 6 \text{ mm}$$

$$n = 0,4 \cdot h + 2 = 2,8 \text{ (mm)} \quad (10)$$

$$r \sim R = 2 \text{ (mm)}$$

h - výška můstku výronkové drážky mm

b – šířka můstku v mm

r - poloměr zaoblení v mm

n - hloubka zásobníku výronkové drážky v mm

3.1.6 Výpočet hmotnosti výronku

Pomocný výpočet pro rovnici číslo 12:

$$D_{výk} = D + b \quad (11)$$

$$D_{výk} = 145 + 6.2$$

$$D_{výk} = 157 \text{ mm}$$

$D_{výk}$ — průměr výkovku v mm

b – šířka můstku v mm

Výpočet hmotnosti můstku:

$$m_{vm} = h \cdot b \cdot \pi \cdot D \cdot \rho \quad (12)$$

$$m_{vm} = 2.6 \cdot \pi \cdot D \cdot \rho$$

$$m_{vm} = 0,012 \cdot \pi \cdot 0,157 \cdot 7,850$$

$$m_{vm} = 0,046 \text{ (kg)}$$

ρ - hustota Fe v kg dm^{-3}

D – průměr výkovku s výronkem v m

m_{vm} – hmotnost můstku v kg

Výpočet rozměru zásobníku:

$$D = D + 2.b + \frac{2}{3}.bz \quad (13)$$

$$D = 145 + 2.6 + \frac{2}{3}.32$$

$$D = 178,3 \text{ (mm)}$$

D - průměr výkovku v mm

b - šířka můstku v mm

bz - střížná mezera můstku v mm

Výpočet hmotnosti výronku v zásobníku

$$mvz = \frac{2}{3}.bz.(h+n).\pi.D.\rho \quad (14)$$

$$mvz = \frac{2}{3} . 0,032 (0,002+0,0028) . \pi . 0,1783 . 7850$$

$$mvz = 0,450 \text{ (kg)}$$

bz - střížná mezera můstku v m

h - výška můstku výronkové drážky v m

n - hloubka zásobníku výronkové drážky v m

mvz – hmotnost zásobníku v kg

ρ – hustota Fe kg m⁻³

Celková hmotnost výronku:

$$m = mvm + mvz \quad (15)$$

$$m = 0,046 + 0,450$$

$$m = 0,496 \text{ (kg)}$$

3.2 Výchozí polotovary

Výkovky v zápusťkovém kování se vyrábějí s tyčí o kruhovém nebo čtvercovém průřezu s tloušťkou $t > 20$. Pro přesné výkovky můžeme použít tyče s kruhovým průřezem a pro tvarově jednoduché výkovky je možno kovat jednodutinovým kovááním bez předkování. V případě členitých a tvarově složitých výkovků je třeba použít tvářecí stroje s postupným kovááním nebo je možné vytvořit předkovek s volným kovááním. Polotovary jsou dodávány do podniků v obchodních délkách (2 – 12 m) [6].

Výpočet stanovení hmotnosti polotovaru

$$G_0 = (G_v + G_{\text{výr}}) \cdot (1 + \delta / 100) \quad (16)$$

δ – procento opalu (0,5 až 3 % podle způsobu a doby ohřevu)

Při indukčním ohřevu bude hodnota opalu kolem 0,5 % oproti komorovým pecím, kde bude procento opalu vyšší.

G_v - hmotnost výkovku

$G_{\text{výr}}$ – hmotnost výronku

Typy používaných polotovarů:

- a) bloky čtvercové (140 – 300 mm)
- b) sochory čtvercové (40 – 130) a kruhové (50 290 mm)
- c) tyče kruhové pro přesné výkovky (50 – 160 mm) a pro obvyklé (50 – 201 mm)
- d) tyče čtvercové (30 – 150 mm)

Objem polotovaru

Při určování polotovaru musíme respektovat štíhlostní poměr λ (poměr délky polotovaru k průměru polotovaru), aby nedošlo k vybočení do strany v počátku petchování tzv. ztrátě stability.

$$V_p = \frac{m}{p} = \frac{2,662}{7850} = 3,391 \cdot 10^{-4} \text{ (m}^3\text{)} \quad (17)$$

$$\text{Průměr polotovaru} \quad D_p = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_p}{\lambda}} = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{339108,3}{2}} = 59,78 = 60 \text{ (mm)} \quad (18)$$

$$\text{Délka polotovaru} \quad V_p = \frac{\pi \cdot d p^2}{4} \cdot l_p = l_p = \frac{V_p}{\frac{\pi \cdot d p^2}{4}} = \frac{339108}{\frac{\pi \cdot 60^2}{4}} = 120 \text{ (mm)} \quad (19)$$

Ověření polotovaru

$$\lambda = \frac{l_p}{D_p} = 1,5 \div 2,8 \quad (20)$$

$$\lambda = \frac{l_p}{D_p} = \frac{120}{60} = 2$$

λ – štíhlost polotovaru

D_p – průměr polotovaru

l_p – délka polotovaru

Vypočtená hodnota štíhlosti odpovídá požadavkům.

3.2.1 Hmotnost polotovaru

$$m_p = \rho \cdot V_0 \text{ (kg)} \quad (21)$$

$$m_p = \rho \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L_0 = 7850 \cdot \frac{\pi \cdot 0,060^2}{4} \cdot 0,12 = 2,66 \text{ (kg)}$$

$V_0 \text{ (mm}^3\text{)}$ - objem polotovaru

ρ – hustota Fe v kg m^{-3}

m_p – hmotnost polotovaru

L_0 - délka polotovaru v m

D^2 – průměr polotovaru v m

Výpočet polotovaru o průměru 60 mm a délky 120 mm $\pm 0,1$ mm.

3.2.2 Dělení a ohřev polotovaru

Používáme ohřívání v indukční peci, která splňuje všechny důležité požadavky, které jsou na polotovar kladeny, tedy dokonalé prohřátí materiálu, přesné dodržení kovací teploty a dodržení stejné doby ohřevu. Indukční ohřev také snižuje oduhličení a oxidaci materiálu. Výhody indukčního ohřevu spočívají v regulaci procesu, v provozní spolehlivosti, jednoduché obsluze pece a ve zkrácení doby ohřevu polotovaru.

Indukční ohřev je elektrický ohřev využívající elektromagnetické indukce. Vložíme-li předmět z elektricky vodivého materiálu dovnitř cívky, jejímž vinutím protéká střídavý proud, indukují se střídavým magnetickým polem v dutině cívky ve vloženém předmětu vířivé proudy. V principu se jedná o transformátor, kde sekundárním vinutím je vsázka (závit nakrátko) a primárním vinutím je cívka, v indukčních ohřevech zvaná induktor. Vířivé proudy vložený předmět (vsázku) zahřívají. Teplo se do vsázky dopravuje střídavým magnetickým polem, tedy nikoli teplotním spádem jako u nepřímých ohřevů a vzniká přímo ve vsázce. Vše ostatní v okolí může být chladné. To je velká výhoda indukčního ohřevu [3].

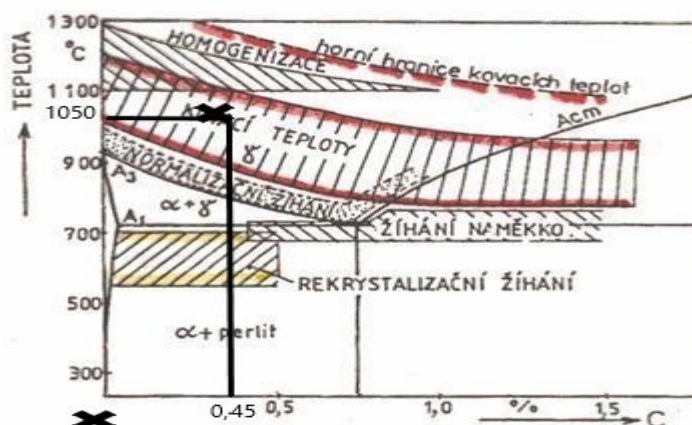
V průběhu každé operace je třeba určit parametry stroje pro dělení velikosti a hmotnosti polotovaru, a to i s tolerancemi (1-3 %). Dělení provádíme nůžkami nebo pilou (řezáním, stříháním, lámáním). Následuje ohřev na kovací teplotu, vizte **obrázek 5**, který je jiný pro různé druhy materiálu a závisí na obsahu uhlíku ve struktuře. Ideální kovací teplotu volíme mezi dolní a horní teplotou (A_{c1} - ohřev na teplotu pod A_{c1} nemění strukturu materiálu, A_{c3} - ohřevem nad A_{c3} dostaneme pouhý austenit a ochlazením vzniká nová struktura, od původní odlišná a v rozsahu celého výrobku zcela rovnoměrná, kdy její složení bude záviset na teplotě ohřevu a rychlosti ochlazování). Jedná se o teplotu, ve které se můžeme z technologického hlediska pohybovat, abychom předešli vnitřním vadám a pnutí v materiálu. Čas pro ohřev má být v co nejkratším možném čase, z důvodu vzniku negativních projevů při ohřevu jako oduhličení nebo přehřátí. Ohřev provádíme v indukčních nebo komorových pecích a podle druhu materiálu, stanovíme potřebnou dobu ohřevu.

Kovací teploty pro polotovar jsou z oceli 12050: $1100 \pm 50^{\circ}\text{C}$.

Deformační odpor pro ocel 12050 při 1050°C : $k_p = 91 \text{ MPa}$

Ohřev polotovaru dělíme podle:

- a) způsobu kování – dle typu použitého stroje: lisy, buchary nebo vodorovné kovací lisy,
- b) stupně obtížnosti kování podle materiálu: stupeň M1 – oceli s obsahem uhlíku do 0,65 % a přísad do 5 %, stupeň M2 – oceli s vyšším obsahem uhlíku a přísad [6].



Oblast pásma vhodná pro kování polotovaru pro příslušnou ocel.

Obrázek 5 Ohřev na kovací teplotu [7]

Za negativní vlivy ohřevu můžeme považovat:

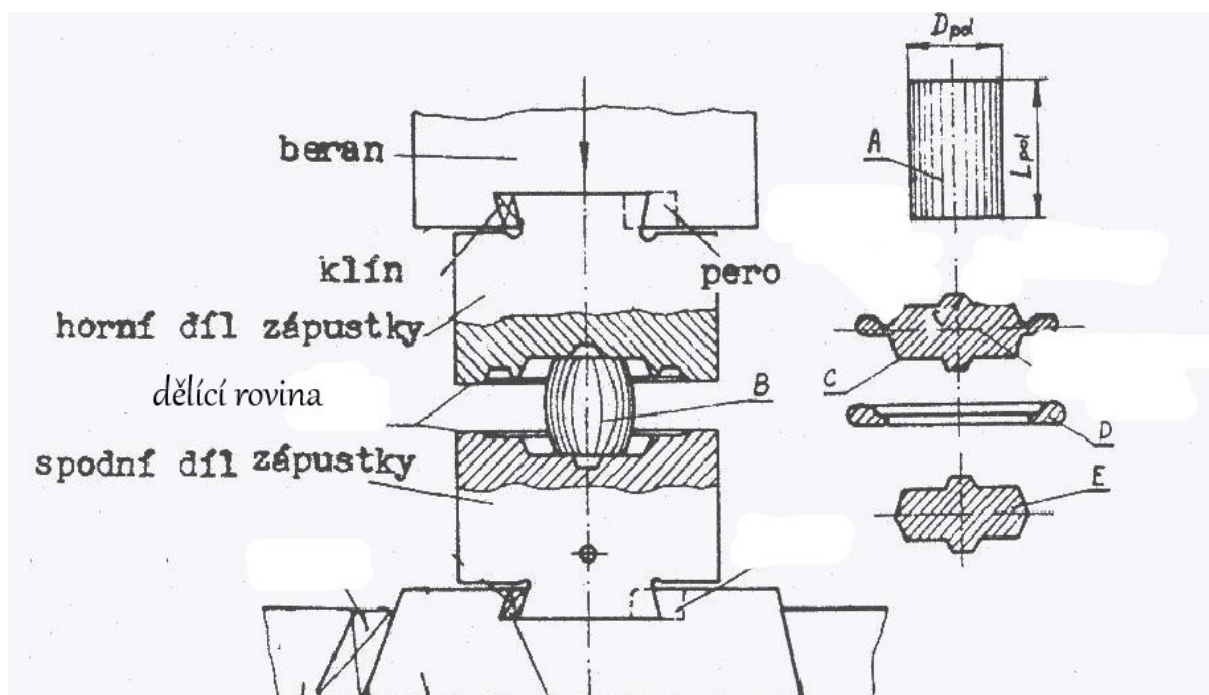
- a) přehřátí oceli: přehřátím výkovku se za vysokých teplot při prodlevě snižují plastické vlastnosti (tažnost, houževnatost). Tento stav oceli neodstraníme normalizačním žíháním, ale pouze prokováním nebo difuzním žíháním.
- b) oxidaci oceli: vzniká v atmosféře (oxidací), kdy se během ohřevu v teplotách 850 až 1250 °C začínají tvořit okuje působením plynů a volného kyslíku. Okuje mají vliv především na povrch výkovku. Jeho mechanické vlastnosti ztrácí svůj materiál (1 až 3 %) při jednom ohřevu a zároveň začíná oduhličení.
- c) spálení oceli: výkovek v tomto stádiu se už nedá žádným krokem napravit a takto spálená ocel je nepoužitelná [6].

Kování zápustkového výkovku

Zápustkové kování je vtlačování kovu v plastickém stavu do dutiny v ocelovém bloku. Obvykle se pracuje se spodní a vrchní zápustkou jak je patrné na **obrázku 6**.

Materiál se vloží do dutiny spodní zápustky a vrchní zápustka se úderem nebo silou přitlačuje na spodní zápustku. Zápustka má kolem dutiny vyfrézovanou drážku pro výronek, který slouží pro odvod přebytečného objemu materiálu (objem polotovaru musí být vždy o něco větší, než je čistý objem dutiny zápustky). Je opatřena vodícími kolíky, které zapadají do děr ve vrchní zápustce a zaručují tak správné dosednutí obou částí.

Zápustky by se měly navrhnout tak, aby reakční síly působily v ose pohybu beranu lisu a nedocházelo k vychylování do stran. Automaticky je zajištěno u rotačních a symetrických součástí. Výrazně nepravidelné díly se pak často kovají dva do jedné zápustky, jako souměrně sdružené, aby se síly působící kolmo na směr pohybu beranu navzájem vyrušily [1].



A - výchozí polotovár

B - polotovár po stlačení

C - výkovek s výronkem

D - odstřížený výronek

E - zápustkový výkovek

Obrázek 6 Jednodutinová zápustka [8]

Vedení zápustek

Vedení zápustek je zajištěno smykadlem lisu vzhledem k beranu lisu a vodícími kolíky v držáku vložek. V případě že vedení není dostatečné, lze použít kruhové vedení nebo vedení zámků. Kruhové vedení je zhotoveno na horní zápustce. Zámek se používá u zápustek s lomenou dělicí plochou pro eliminaci posuvných sil [9].

4 Lisy

Při volbě stroje se rozhoduje podle počtu kusů a požadavku na přesnost výkovku. Od toho se odvíjí volba tvářecího stroje.

Volba stroje vychází z těchto kritérií:

- a) rozměry a tvar výkovku
- b) počet vyráběných kusů
- c) požadovaná tvářecí síla

Pro lisy je charakteristická klidná síla a tečení kovů v kolmém směru k působící síle. Na lisech se zápustky méně opotřebovávají. Nevýhodou jsou okuje, které se zakovávají do výkovku a zhoršují kvalitu povrchu výkovku. Pro zmírnění vad po okujích můžeme zařadit jako první operaci pěchování. Na lisu vyrábíme výkovky přesných rozměrů. Lisy se pro své velké počáteční náklady vyplatí v zápustkovém kování až při velké sériové výrobě s velkým počtem výkovků stejných rozměrů, zvláště na linkách v automobilce.

Lisy dělíme na:

- a) svislé kovací lisy: jsou skládány ze setrvačníku a pneumatické spojky s velkými stojany. Pracuje s kinetickou energií setrvačníku. Tento typ lisu má přestavitelné smykadlo s uvolněním, pro případ zaseknutí smykadla. Lisy se hodí pro automatizovanou výrobu a na kovací linky.
- b) vodorovné kovací lisy: lisy s horizontálním uspořádáním, pro možné kování tyčí. Lisy jsou pro svůj progres vhodné hlavně pro automatizovanou výrobu.
- c) vřetenové lisy: tento typ lisů se hodí pro protlačování a kování v uzavřených zápustkách, děrování, rovnání i kalibraci. Při rychlosti smykadla kolem 0,5 m/s je schopen vykovat výkovek jedním krokem v jednodutinové zápustce.

Pro lisy (vřetenové, vodorovné kovací, hydraulické) je přiřazen ostříhovací lis. Zvolení bucharu nebo lisu je základním předpokladem pro výkovek a zápustku. Ať už předkováním

nebo v rozdílech zatékání kovů do dutiny zápustky. Buchary pracují na principu úderů a rázu, proto mají větší rychlost tečení oproti lisu. Na lis působí klidné a stále síly, které způsobí lepší tečení kovu v kolmém směru. Zápustky u lisu nejsou tak namáhané oproti bucharu, kde je zapotřebí pro zaplnění zápustky několika úderů. Výkovky na lisech jsou přesnějších rozměrů[9]. Porovnání lisů a bucharů je provedeno v **tabulce 2**.

Tabulka 2: *Síly pro lisy a buchar [9]*

kovací lis	zápustkový buchar		ostříhovací lis
síla (MN)	hmotnost beranu (t)	energie úderů (kJ)	síla (MN)
3,15	0,2	4	0,1
6,3	0,4	10	1
10	0,75	15	1,6
16	1,5	30	2,5
20	2	40	3,15
25	2,5	60	3,15
31,5	3	80	4
40	4	100	5
63	6	150	8

4.1 Volba tvářecího stroje

Pro výrobu náboje volíme svislý kovací lis, který dosahuje síly až 600 MN. Lisy mají mohutný setrvačnick a pneumatickou lamelovou spojku. Zdvih lisu a kinetická síla beranu je dána kinetickou silou setrvačnicku. K deformaci se využije pouze část zdvihu. Lisy jsou také vybaveny smykadlem a uvolňovacím zařízením zaseknutého smykadla, ke kterému může dojít při přetížení blízko dolní úvratí. Lisy jsou vhodné pro automatizované a mechanické linky [9].

Pro řešení výkovek vybíráme svislý kovací lis LMZ 2500 **obrázek 7**:

- pracovní rozsah: Jmenovitá tvářecí síla - 25 MN
- sevření: 910–960 mm
- průchod: 1 470 mm
- stůl - upínací plocha: 1 420 x 1400 mm
- zdvih spodního vyhazovače: 70 mm
- vyhazovací síla: 125 kN
- upínací plocha: 1 030 x 1 250 mm

- zdvih: 320 mm
- počet zdvihů: 70 min^{-1}
- zdvih horního vyhazovače: 45 mm
- vyhazovací síla: 125 kN
- výkon hlavního motoru: 130 kW
- celkový příkon: 145 kVA
- hmotnost lisu: 155 000kg



Obrázek 7 Svislý kovací lis LMZ 2500 [10]

Stroj je určený pro přesné zápustkové kování a kalibrování výkovků za tepla. Je vhodný pro výrobu výkovků pro automobilový průmysl nebo letecký průmysl. Charakteristickým znakem těchto lisů je příčně uložená výstředníková hřídel a ústrojí pro výškové přestavení beranu, které lze použít k uvolnění zaseknutí beranu z dolní úvratě. Stojany lisů jsou z lité oceli. Ovládání třecích lamelových spojek a brzd je elektropneumatické. Ovládací prvky a diagnostika poruch kontrolními žárovkami jsou soustředěny na ovládacím panelu [10].

4.2 Výpočet síly podle Brjuchanova – Rebelského

$$F_k = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot D) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{D_c}\right)^2 \cdot \sigma \cdot S_{výk} \quad (22)$$

$$F_k = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot 145) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{145}\right)^2 \cdot 91 \cdot 16504,6$$

$$F_k = 15738424,78 \text{ (N)} = 15,7 \text{ (MN)}$$

D – průměr výkovku v mm

S_{výk} - plocha výkovku v dělicí rovině mm²

σ – skutečné napětí v MPa

4.3 Ostříhování výronku

Výkovky ostříhujeme podle obsahu uhlíku v oceli do 0,5% za studena, s obsahem uhlíku nad 0,5 % je odstříhujeme za tepla. Lisy pro odstřížení jsou součástí kovacíh linek. Síla pro odstřížení se vypočítává pro vnitřní a vnější blánu.

4.3.1 Výpočet střížné síly pro ostřížení vnějšího výronku:

$$F_{s1} = \eta \cdot o \cdot t_2 \cdot \tau \quad (23)$$

$$F_{s1} = 1,2 \cdot \pi \cdot D \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m$$

$$F_{s1} = 1,2 \cdot \pi \cdot 145 \cdot 3,1 \cdot 0,8 \cdot 900$$

$$F_{s1} = 1219475 \text{ N} = 1,22 \text{ (MN)}$$

D – průměr výkovku v mm

t- vůle střížného nástroje (-)

R_m – mez pevnosti, MPa

η – koeficient otupení různé hrany (-)

τ - napětí ve smyku, MPa

o – obvod výkovku v dělicí rovině v mm

4.3.2 Výpočet střížné síly pro ostřížení vnitřního výronku (blány):

$$F_{s2} = \eta \cdot o \cdot t_0 \cdot \tau \quad (24)$$

$$F_{s2} = 1,2 \cdot \pi \cdot D \cdot t_0 \cdot 0,8 \cdot R_m$$

$$F_{s2} = 1,2 \cdot \pi \cdot 45 \cdot 11 \cdot 0,8 \cdot 900$$

$$F_{s2} = 1342915,2 \text{ N} = 1,34 \text{ (MN)}$$

D – průměr díry výkovku v mm

t- vůle střížného nástroje (-)

R_m – mez pevnosti v MPa

o – obvod výkovku v dělicí rovině v mm

Celková střížná síla:

$$F_s = F_{s1} + F_{s2} \quad (25)$$

$$F_s = 1219475 + 1342915,2$$

$$F_s = 2562390,2 \text{ N} = 2,56 \text{ (MN)}$$

F_s – celková střížná síla

F_{s1} – střížná síla vnějšího výronku

F_{s2} – střížná síla vnitřního výronku

Volím dvoudobý jednočinný klikový lis LDO 315 A/1 o jmenovité síle 3,15 MN od firmy Šmeral.

4.4 Kalibrace

Kalibraci provádíme u výkovků, kde klademe velký důraz na přesnost, na hladký povrch a přesnou hmotnost. Kalibraci za tepla lze provádět skoro na všech typech strojů pro zápusťkové kování. Kalibraci provádíme ihned po konci kování výkovku, abychom mohli využít jeho předebranou teplotu. Předejdeme tak dalšímu ohřevu a současně tím zabráníme opětovnému okujení. Má-li výkovek velké přídavky, vzniká výronek nový, který je však odstříhnut až za studena.

Kalibrace za studena je přesnější než za tepla, protože je už tepelně výkovek upraven a je bez okují. Kalibrací se výkovek zpevňuje, proto musíme v některých případech znovu výkovek tepelně zpracovat. Pro požadavek velmi přesných rozměrů kalibrujeme za tepla a poté ještě jednou za studena [3].

Druhy kalibrace:

- a) objemová – pro přesné vzdálenosti mezi kalibrovanou plochou, získáme hladký a čistý povrch,
- b) plošná - stlačením povrchu na konci vznikne výkovek,
- c) kombinovaná - kombinace objemové a plošné kalibrace.

4.5 Mazání zápustek

U zápustkového kování má mazání velký vliv, protože mazivo jej chrání před opotřebením, chladí, zmenšuje tření mezi zápustkou a výkovkem, odděluje povrch zápustky a výkovku, zamezuje okujím a zlepšuje tok tvářeného materiálu. Pro kvalitní výkovek musíme vybrat mazivo s vysokou mazlavostí. Pro kování s ohřevem jsou nevhodné oleje. V praxi se převážně používá hlavně grafit v roztoku [3].

Maziva používaná při zápustkovém kování dělíme na:

- a) tuhá maziva (grafit v roztoku) - dispergovaná ve vodě, dispergovaná v oleji,
- b) kapalná maziva - minerální a organické oleje, emulgační oleje, syntetické látky,
- c) konzistentní maziva - mazlavá mýdla a mazací tuky,
- d) piliny,
- e) soli.

5 Tepelné zpracování výkovku

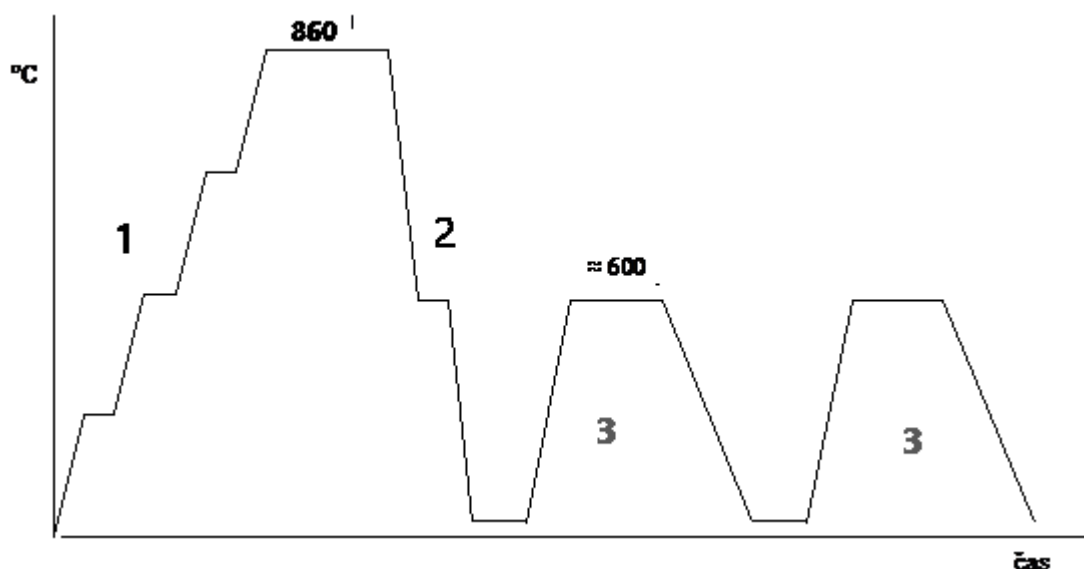
Zápustkové výkovky mohou být dodávány v různých stavech tepelného zpracování. V úvahu přicházejí tyto způsoby zpracování:

a) žíhání naměkko – účelem žíhání je jednak snížení tvrdosti pro následující obrábění, jednak získání vhodných mechanických i jiných vlastností a také příprava vhodné výchozí struktury pro následující kalení. Nejjednodušší žíhání naměkko je ohřev na teplotu těsně pod bodem A_{c1} a několika hodinová výdrž na této teplotě.

b) normalizační žíhání – účelem normalizačního žíhání je zjemnění hrubého zrna a zrovnoměnění velikosti zrna v objemu výkovku. Podmínky a rychlost ochlazování pro kování nejsou zcela stejné u všech výkovků a často jsou různé i v různých částech jednoho výkovku zvláště u různých průřezu. Proto mohou mít jednotlivé výrobky různě velké zrno a mohou se různě chovat při následujícím tepelném zpracování. Normalizačním žíháním se vytvoří nejen zrno jemnější, ale i stejnoměrně velké. Normalizační žíhání nejběžnějších podeutektoidních ocelí představuje ohřev na teplotu o 30 až 50 °C nad bodem přeměny A_{c3} a následující volné ochlazení na vzduchu.

c) kalení – účelem kalení je zvýšit tvrdost oceli. Kalení je ohřev výkovku na teplotu nad A_{c3} . Dále výdrž na této teplotě a následné tak rychlé ochlazení, že se přemění austenit na martenzit nebo bainit. U podeutektoidních ocelí je správná kalící teplota asi 20° C nad teplotou A_{c3} . U nadeutektoidních ocelí je kalící teplota asi 20° C nad A_{c1} . U slitinových nadeutektoidních ocelí s vysokým obsahem karbinotvorných prvků je kalící teplota dána teplotou rozpustnosti karbidu a dosahuje např. u rychlořezných ocelí až 1 420° C.

d) popouštění – kombinace kalení a popouštění se nazývá zušlechťování oceli. Popouštění je ohřev kaleného předmětu na teplotu nejvýše dosahující těsně pod bod A_{c1} , výdrž na této teplotě a následující ochlazení. Účelem popouštění u konstrukčních ocelí je snížení pevnosti, při současném zvýšení plastických vlastností. U nástrojových ocelí se tím odstraňuje vnitřní pnutí, zvyšuje se houževnatost, případně i tvrdost. [11].



1 – ohřev výkovku

2 - kalení výkovku

3 - popouštění výkovku

Obrázek 8 Kalení a popouštění [12]

5.1 Návrh tepelného zpracování uvádím pro ocel 12050

Postupná výroba v zápustkovém kování má značný a příznivý vliv na strukturu materiálu. Často se přesto aplikuje několik druhů zušlechťování materiálu a zvýšení jeho mechanických a technologických vlastností dle požadavku zákazníka a výkresové dokumentace. Při tepelném zpracování je možno využít různých způsobů tepelného zpracování. Pro příklad jsem navrhnul postup pro ocelový výkovek C 45 (12 050). Chemické složení oceli uvádím v **tabulce 3**.

Pro tepelný návrh pro materiál C 45 (12050) a ověření mechanických a strukturních vlastností výkovku, je vhodná ocel používaná ke zušlechťování z důvodu své dobré vrubované houževnatosti a obrobitelnosti. Pro zápustkový výkovek je třeba vybrat ocel s dobrou tvarovou stabilitou po zušlechťovacích procesech. Mez pevnosti se pohybuje v rozmezí 600 až 710 MPa. Možná tvrdost po kalení se udává až v 62 HRC.

Tabulka 3: Chemické složení pro ocel 12 050 v (hm. %) [13]

	C	Mn	Si	Ni	P	S	Cr	Cu
12050	0,42	0,5	0,17	Max.	Max.	Max.	Max.	Max
	0,50	0,8	0,37	0,3	0,040	0,040	0,25	0,3

Tepelné zpracování se provádí po skončení kování, pokud je to možné, kdy využijeme teplotu výkovku. Zabraňujeme vzniku trhlin a snižujeme tak vnitřní pnutí výkovku, kdy většinou používáme žíhání naměkko nebo normalizační žíhání. V neposlední řadě také pro zlepšení mechanických vlastností [14].

žíhání naměkko: 650 až 700 °C – ochlazovat v peci

normalizační žíhání: 850 až 880 °C – ochlazovat na vzduchu

kalení: 830 až 860 °C - zchlazení ve vodě nebo v oleji

popouštění: 530 až 670 °C

teploty přeměn: A_{c1} - 725 °C, A_{c3} - 785 °C, M_s - 310 °C

povrchová tvrdost po povrchovém kalení: průměr ≤ 40 (mm) – 58 ± 3 HRC

průměr 145(mm) 55 ± 3 HRC

Interval kovacích teplot analyzovaného výkovku je: 1 150 - 800 °C

Závěr

Cílem bakalářské práce bylo vypracování studie uhlíkových ocelí a technologický postup kování zápustkového výkovku. Bakalářská práce se zabývá problematikou zařazení a návrhu výkovků, stanovení technologických přídavků a také přídavků na obrábění, přes volbu dělicí roviny a všech potřebných výpočtů pro vyráběnou součást. Konstrukce výkovku byla řešena v programu SOLIDWORKS.

Dále bylo vybráno řešení a byl zvolen nejvhodnější způsob kování od stanovení polotovaru, po určení vhodné kovací teploty pro ocel 12050 a jejích výpočtu. Na závěr stanovují volbu tvářecího stroje pro danou součást a také výpočty potřebných sil stroje pro námi vyráběnou součást zápustkového výkovku.

V poslední fázi navrhuji vhodné tepelné zpracování a uvádím i další možnosti tepelné úpravy, pro co nejlepší dosažení mechanických vlastností zápustkového výkovku. Velkou výhodou kování je, že při optimální deformaci dojde ke zlepšení průběhu vláken, které kopírují součást, čímž jsou zvyšovány mechanické vlastnosti. Produktivita kovárenství se dále může zvyšovat postupnou automatizací a výrobou např. u kovacích linek.

Literatura

- [1] ŽÍDEK, M, DĚDEK, V., SOMMER, B. *Tváření oceli*, Praha, SNTL, 1988, 520 s.
- [2] Moodle - Průmyslovka Třebešín [online]. Průmyslovka Třebešín: ©2019 [cit. 16.4.2019]. Dostupné z: [https:// www.moodle-trebesin.cz /](https://www.moodle-trebesin.cz/)
- [3] HAŠEK, VLADIMÍR. *Kování*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1960. 732s. ISBN 04-233-65
- [4] ČSN 420271 (420271) Výkovky ocelové zápusťkové. Všeobecné technické požadavky = Steel drop forgings. General technical requirements. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018. Dostupné také z: <http://csnonline.unmz.cz/>
- [5] program SOLIDWORKS 2017
- [6] GREGER, MIROSLAV. *Kování*. [online] VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, 2008 [cit. 10.3.2019]. Dostupné z: http://katedry.fmfi.vsb.cz/Opory_FMFI/633/633-Greger-Kovani.pdf
- [7] *Vysoké učení technické v BRNĚ* [online]. Vysoké učení technické: ©2019 [cit. 16.3.2019] Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/>.
- [8] *Katedra strojírenské technologie* [online]. Katedra strojírenské technologie: © 2019 [cit. 16.3.2019]. Dostupné z: <http://www.ksp.tul.cz>
- [9] BRJUCHANOV, A.N, REBELSKIJ, A.V. *Zápusťkové kování 2 – Kování na klikových lizech a vodorovných kovacíh strojích*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury 1956. s. 352.
- [10] *Šmeral Brno a.s.* [online]. Web147.cz: ©2019 [cit. 16.3.2019]. Dostupné z: <http://www.smeral.cz>.
- [11]] JECH, J. Tepelné zpracování ocelí. Metalografická příručka., SNTL Praha, 1977, 400 s.
- [12] *Kalení a popouštění*. [online] ©2019 [cit. 16.3.2019]. Dostupné z: [http:// stc.fs.cuub.cz](http://stc.fs.cuub.cz).
- [13] *Interní materiály společnosti MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o. (MMV)*.

- [14] *Strojírenská technologie 1, Metalografie a tepelné zpracování*. M. HLUCHÝ, O. MODRÁČEK, R. PAŇÁK.
- [15] KUBEC, V., M. FEDORKO, M. ZEMKO a L. MALEČEK. Možnosti využití numerických simulací pro zápusťkové kování. *Kovárenství*. 2015, r. 53, s. 40-43.
- [16] HAWRYLUK, M., ZIEMBA. J. Possibilities of application measurement techniques in hot die forging processes. *Measurement*. 2017, roč. 110, s. 284-295.
- [17] *GRIVEL: Hot drop forging [online]*. Aosta - Italy, 2007 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: http://www.grivel.com/company/hot_drop_forging.
- [18] *ASM-Metals Handbook: Forming and Forging*. USA ASM International, 2004. s. 978.